

# L'offre actuelle en capteurs de temps présent

Michel Leroy et Fabrice Zanghi

Météo-France  
 Direction des systèmes d'observation  
 7, rue Teisserenc-de-Bort - BP 202 - 78195 Trappes  
 michel.leroy@meteo.fr

Photo 1 - Vue partielle du site canadien de la campagne Prewic, situé à Saint John's (Terre-Neuve), en 1994. Cette campagne internationale, organisée par l'OMM, visait à évaluer et à comparer divers capteurs de temps présent. Elle s'est déroulée pour partie à Saint John's et pour partie à Trappes. (Photo F. Zanghi)



## Résumé

Il existe désormais sur le marché des instruments automatiques capables de mesurer certaines des caractéristiques du temps présent (occurrence et nature des précipitations, visibilité, couverture nuageuse, etc.). Cet article présente de façon synthétique les principaux modèles disponibles sur le marché, les procédés physiques sur lesquels ils reposent, ainsi que leurs performances et leurs limites.

## Abstract

### Current commercial present-weather sensors

There are now on the market automatic instruments able to measure some of the present weather elements (occurrence and nature of precipitation, visibility, cloud cover, etc.). This paper surveys the main sensors available on the market, the physical processes they use, their performance and limitations.

## Les capteurs de temps présent

Pour le lecteur non averti en matière météorologique, évoquer « le temps qu'il fait », c'est décrire des éléments comme l'état du ciel (bleu, couvert...), la présence de brume ou de brouillard, la bruine, la pluie ou la neige qui tombent, l'état du sol (mouillé, recouvert de verglas ou de neige...). C'est ce que les météorologistes appellent la connaissance du **temps présent**, encore appelé « temps sensible ». Les progrès technologiques accomplis ces dernières années permettent dans certains cas d'effectuer automatiquement les observations de temps présent, sans présence humaine. Il ne s'agit pas d'essayer de traiter automatiquement les subtilités du message Synop<sup>(1)</sup> du temps présent, mais d'améliorer pour la prévision générale du temps la densité d'observations concernant les hydrométéores en suspension, précipitants et déposés au sol, la couverture nuageuse, la visibilité

et autres paramètres, au moyen de nouveaux instruments dits **capteurs de temps présent** (photo 1).

Depuis quelques décennies, les paramètres météorologiques classiques (température, pression, humidité, vent, rayonnement, etc.) sont mesurés en station, transmis et enregistrés par des systèmes automatiques. Depuis quelques années, Météo-France s'oriente délibérément vers l'automatisation de l'observation, à la fois en complément et en remplacement de l'observation humaine. En plus de leur valeur pour la prévision du temps, les paramètres du temps présent ainsi mesurés intéressent naturellement le milieu de l'aéronautique.

(1) Synop : message codé d'observation météorologique en surface provenant d'une station terrestre, codifié par l'Organisation météorologique mondiale. Ces messages des stations météo, diffusés partout et en permanence sur le Système mondial de télécommunications météorologiques, contiennent des informations très détaillées sur le temps présent (précipitations, nébulosité, visibilité, etc.).

Il existe sur le marché plusieurs types de capteurs pouvant répondre, souvent partiellement, à ces besoins : détection des précipitations, mesure de la visibilité, de l'état du ciel, de la hauteur de neige au sol, de l'état du sol, etc. Sans faire une description exhaustive de tous ces capteurs de temps présent du commerce, cet article propose une synthèse de l'offre actuelle, avec une rapide description des procédés physiques utilisés et une analyse des possibilités et des limites de ces instruments.

## La température

Les mesures de la température de l'air, du sol, dans le sol et au-dessus du sol sont en général utiles pour la détermination du temps présent. Elles sont bon marché et ne nécessitent pratiquement pas de maintenance. La température au-dessus du sol (entre 10 et 50 cm) peut servir d'indicateur ou de test de cohérence pour déterminer la présence de neige fondante (isothermie à 0 °C), mais aussi la disparition ou l'apparition d'un brouillard (gradient de température au-dessus du sol). Les températures au sol et dans le sol (à -10 et à -20 cm) peuvent quant à elles renseigner sur la tenue de la neige au sol.

## L'état du sol

L'instrument **Solia** (société Degréane, France) est le seul capteur du marché indiquant l'état du sol : sol sec, humide, mouillé, enneigé ou partiellement enneigé (photo 2). Il fait appel aux propriétés optiques d'un sol dit « de référence » exposé aux intempéries (Gaumet et Salomon, 1998). La lumière incidente modulée est diffusée et réfléchié différemment suivant l'état du sol. Par exemple, un sol mouillé



Le capteur de temps présent **FD12P** (société Vaisala, Finlande) détermine le caractère verglaçant grâce à une mesure de température au niveau du détecteur de précipitations. Le score de réussite est acceptable

Photo 2 - L'instrument Degréane Solia comporte un émetteur et un récepteur (lumière diffusée) à droite, un récepteur (lumière réfléchié) à gauche, et une plaque dite « de référence » posée sur le sol et exposée aux intempéries. (Photo Météo-France, P. Taburet)

produit une forte réflexion et une faible diffusion, tandis qu'un sol enneigé produit à la fois une forte diffusion et une forte réflexion. L'état verglacé du sol est déduit de l'état mouillé en présence d'une température de sol négative.

Il existe également des capteurs routiers qui mesurent certains états du sol : sa température, son état sec, humide, mouillé ou verglacé, la température de congélation. Les principes physiques utilisés sont la modification des caractéristiques électriques du sol en fonction de son état. Ces capteurs sont toujours vendus en tant qu'éléments d'une station météo routière complète (sociétés Vaisala, Sermo et Boschung).

## Le givre et les précipitations verglaçantes

Le détecteur de givre **Freezing rain detector 872H3** (société Rosemount Aerospace, États-Unis) est actuellement le seul capteur du marché (photo 3). Dérivé de capteurs aéronautiques, il est employé dans les systèmes américains Asos (Automated Surface Observing System) et dans les systèmes automatiques canadiens. Il a été testé lors de l'expérience de comparaison Prewic (Leroy, 1998 ; Leroy et al., 1998). C'est une tige vibrante dont la fréquence de vibration est modifiée par l'épaisseur de la couche de glace qui la recouvre, la tige étant réchauffée lorsque cela est nécessaire. Le capteur peut aussi évaluer l'intensité du phénomène à l'aide de l'amplitude de la variation de fréquence. Il est ainsi capable de détecter une bruine verglaçante non perçue par un capteur d'identification des précipitations, avec cependant la possibilité de fausses alertes.

(Leroy et al., 1998). C'est de plus une indication « gratuite » avec un FD12P puisqu'elle ne nécessite pas de capteur supplémentaire, mais les performances sont moins bonnes que celles du capteur Rosemount. Le capteur de temps présent **PWD21** (Vaisala) fait de même.



Photo 3 - Le détecteur de givre Rosemount 872H3, avec sa tige vibrante à l'extrémité gauche. (Photo Météo-France, P. Taburet)

Enfin, la détection de précipitations liquides par un capteur de temps présent, accompagnées d'une température de l'air négative ou d'une température du sol négative ou des deux à la fois, peut également permettre de déterminer le caractère verglaçant des précipitations.

## La visibilité

On peut obtenir la mesure de la visibilité directement à l'aide d'un transmissomètre (mesure de la capacité d'une portion d'atmosphère à transmettre le rayonnement) ou indirectement à l'aide d'un diffusomètre (mesure de la capacité d'une portion d'atmosphère à diffuser le rayonnement).

Le transmissomètre permet de mesurer des visibilités comprises entre 15 et 1 500 mètres. Cet instrument est précis, mais nécessite une infrastructure coûteuse.

Il existe de nombreux diffusomètres sur le marché. Les plus performants utilisent la diffusion latérale avant, qui dépend peu du type d'hydrométéores en suspension. On peut distinguer deux catégories de diffusomètres :

- Des capteurs « haut de gamme » présentant de bonnes performances et une gamme de mesure étendue (de 10 mètres à 50 kilomètres ou plus) : le capteur **FD12P** (Vaisala, Finlande), le **6210** (Belfort, États-Unis), le **DF20** (Degréane, France, voir photo 4), le **Teledyne**. Ces capteurs sont adaptés à la fois à une utilisation aéronautique (mesure de la visibilité et de la portée visuelle de piste) et météorologique.





Photo 4 - Le diffusomètre Degréane DF20. En arrière-plan, la tour radar de Trappes. (Photo Météo-France, P. Taburet)

Les détecteurs optiques décèlent le passage d'hydrométéores dans un faisceau lumineux. Ils sont sensibles, mais peuvent donner des fausses alertes :

- Le détecteur optique **IRSS88** (Eigenbrodt, Alle-

magne) a participé à l'expérience Prewic. Sa détection est très bonne, équivalente à celle des meilleurs détecteurs-identificateurs, mais il fournit de nombreuses fausses alertes (présence de fils d'araignée, rétention d'eau sur les optiques générant des détections en présence de vent). Le capteur n'étant pas chauffé, le chemin optique peut être bloqué par de la neige ou par des précipitations congelantes. Le capteur indique ce blocage, mais ne peut plus détecter les précipitations.

Certains sont en exploitation opérationnelle sur des aéroports.

- Des capteurs deux fois moins chers, dont les performances météorologiques sont moindres et la gamme de mesure plus réduite : le **6100** (Belfort) avec une gamme 0 - 10 km, le **PWD11** (Vaisala) avec une gamme 0 - 2 km, le **PWD21** (Vaisala) avec une gamme 0 - 20 km. Actuellement, les performances de ces capteurs ne sont pas suffisantes pour une application aéronautique, mais pourraient l'être pour une application météorologique.

## Les précipitations

La détection automatique des précipitations et l'identification automatique du type des précipitations (bruine, pluie, neige, grêle...) sont de toute première importance pour la surveillance et la prévision du temps. Certains des instruments utilisés pour les précipitations mesurent également la visibilité. On divise donc ces capteurs en quatre grandes catégories :

- les détecteurs de précipitations ;
- les détecteurs-identificateurs de précipitations ;
- les détecteurs-identificateurs de précipitations en même temps visibilimètres ;
- les autres analyseurs de précipitations.

La plupart des indications données par la suite sur les performances de ces instruments proviennent de la campagne de comparaison Prewic (Leroy et al., 1998).

## Les détecteurs

Ces instruments automatiques sont capables de renseigner sur la présence ou l'absence de précipitations à l'endroit où ils se trouvent. Il en existe sur le marché de nombreux modèles de différentes conceptions et ils sont peu onéreux. Certains ont participé à l'expérience Prewic ; d'autres vont être évalués prochainement à Trappes.



Photo 5 - Essais de capteurs de temps présent au Puy-en-Velay (Haute-Loire). Le mât porte (tout à fait en haut) deux détecteurs de précipitations, le Thies et le Kriwan, et un capteur de hauteur de neige Campbell (cylindre vertical à l'extrémité de la tige horizontale).

- Le détecteur optique **Precipitation monitor Thies** (Thies Clima, Allemagne) est actuellement testé au Puy-en-Velay par la Direction des systèmes d'observation (DSO). Il possède un chauffage pour éliminer les dépôts de neige ou de givre (partie supérieure de la photo 5 et photo 6).

Les détecteurs à grille (résistive ou capacitive) décèlent la présence d'eau sur une surface chauffée supportant une grille imprimée. Le chauffage, nécessaire au bon fonctionnement de l'instru-



Photo 6 - Vue rapprochée du détecteur de précipitations Thies.

ment, apporte souvent un retard pour la détection de la fin des précipitations. La détection de la pluie est bonne, celle de la bruine l'est moins. La détection de la neige se révèle beaucoup moins satisfaisante, sans doute à cause du faible contenu en eau de la neige et de sa possible évaporation par le chauffage. La détection de la neige fondante est meilleure. Lors de grosses chutes de neige, il peut se former un pont au-dessus du capteur, qui ne détecte alors plus rien. La société Vaisala (Finlande) fabrique actuellement un détecteur capacitif, alors que la société Eigenbrodt (Allemagne) fabrique un détecteur résistif. Un autre détecteur de précipitations (Kriwan, France) est en cours d'essais au Puy-en-Velay (partie supérieure de la photo 5 et photo 7).



Photo 7 - Vue rapprochée du détecteur de précipitations Kriwan.

## Les détecteurs-identificateurs

Ces instruments automatiques sont capables de renseigner sur la présence ou l'absence de précipitations, mais aussi d'identifier le type des précipitations (bruine, pluie, neige...) qui tombent là où ils se trouvent.

Les détecteurs-identificateurs à micro-ondes détectent et identifient les précipitations à partir d'une mesure de la vitesse verticale de chute des particules ou de celle de la « signature » du signal micro-ondes diffusé ou transmis. Le principe de mesure est en fait

celui du radar micro-ondes Doppler. L'instrument **Precipia** (Degréane, France), développé dans le cadre du projet Solfège de Météo-France, s'est révélé décevant : il donne des résultats moins bons que le capteur optique PWD11. L'instrument **Poss** (Qualimetrics, Canada) a été développé par les Canadiens, qui l'utilisent encore. Lors de l'expérience Prewic, ses performances ont été variables suivant le capteur et la période. Les bons capteurs Poss sont à peu près équivalents aux autres modèles de détecteurs-identificateurs (FD12P, PW-402B HSS, Ledwi).

Le capteur optique à scintillation **Ledwi** (OSI, États-Unis) repose sur l'analyse des fréquences de scintillation d'un faisceau lumineux dans lequel passent les hydrométéores à détecter et à identifier. Cet instrument n'a pas été conçu pour identifier la bruine ; son principe de mesure ne permet pas non plus de déterminer la visibilité. Mais pour les précipitations, c'est le capteur utilisé par les États-Unis dans les systèmes Asos (Nadolski, 1998). Les précipitations très faibles sont souvent indéterminées, car le capteur est moins sensible en détection que les instruments FD12P et Poss. Néanmoins, il est conforme aux spécifications américaines (seuil de détection à 0,25 mm/h). Il existe un modèle simplifié, le modèle **OWI**, qui est un pluviomètre optique. Enfin, signalons qu'un nouvel instrument, le **E-Ledwi** (Enhanced Ledwi), était en développement en 1997 pour ajouter au Ledwi la détection et l'identification de la bruine ainsi que l'identification de la grêle.

## Les détecteurs-identificateurs et visibilimètres

Les six capteurs de cette catégorie sont des capteurs optiques.

Le capteur **PW-402B HSS** (Biral, États-Unis) est le plus ancien capteur du marché avec le Ledwi. C'est un double diffusomètre qui utilise à la fois la diffusion avant (classique pour la visibilité) et la diffusion latérale arrière. Ce capteur détermine la taille et la vitesse des hydrométéores : les particules passant dans le volume d'analyse (inférieur à un litre) provoquent des pics d'intensité du signal. La hauteur des pics est liée à la taille des hydrométéores. La mesure de la décroissance et de la disparition des pics permet de calculer les temps de passage dans le volume de diffusion et d'en déduire la

vitesse verticale de chute des particules. Un tableau de répartition du nombre de particules par taille et par vitesse est établi, puis analysé pour reconnaître l'hydrométéore. Le capteur PW-402B HSS n'a pas été conçu pour reconnaître la bruine. Il est moins sensible en détection que le FD12P et le Poss. Les précipitations très faibles sont souvent indéterminées ; quand elle est détectée, la bruine est identifiée comme de la pluie ou indéterminée. En revanche, la reconnaissance de la pluie et de la neige est assez bonne. Le capteur indique cependant de la pluie au lieu de la neige pendant des précipitations mélangées, des averses de neige légère, des épisodes de neige soufflée.

Le capteur **FD12P** (Vaisala, Finlande) est dérivé du diffusomètre FD12 qui sert pour la mesure de la visibilité. Son faible volume de diffusion permet de détecter les particules individuelles d'hydrométéore. Le FD12P calcule aussi une intensité de précipitations à partir des variations du signal. Un détecteur de précipitations à grille capacitive réagit à la quantité d'eau liquide et indique aussi une intensité. Les intensités optique et capacitive sont comparées et permettent, avec une mesure de la température, de discriminer les précipitations liquides et solides, mais aussi d'identifier le caractère verglaçant des précipitations. D'après son constructeur, le FD12P est capable d'identifier plus de variétés d'hydrométéores que les autres capteurs (variétés supplémentaires : grêle, neige en grains, cristaux de glace, précipitations mélangées...). En fait, lors des essais, la grêle n'a jamais été identifiée comme grêle, mais comme pluie forte. Bien que l'identification propose une gamme de choix plus étendue, les variétés le plus souvent indiquées par ce capteur sont : la pluie, la bruine, la neige ou les précipitations mélangées. La reconnaissance des variétés supplémentaires n'est donc pas fiable. À l'inverse, le FD12P est l'un des capteurs les plus sensibles en détection. Il possède le meilleur score d'identification de la bruine (50 %). La pluie est bien identifiée, la pluie très faible pouvant cependant être considérée comme de la bruine. La neige est bien identifiée, mais les événements de neige légère ou intermittente sont parfois considérés comme de la bruine. Le capteur indique assez bien les précipitations verglaçantes. Enfin, ses indications sur

les quantités précipitées d'eau liquide et de neige sont assez fiables (précision  $\pm 20\%$  pour l'eau liquide,  $\pm 40\%$  pour la neige).



Photo 8 - Le capteur de temps présent Vaisala PWD11, capable de détecter et d'identifier les précipitations, mais aussi de mesurer les faibles visibilités. (Photo Météo-France, P. Taburet)

Le principe du capteur **PWD11** (Vaisala, Finlande, voir photo 8 et figure 1) est équivalent à celui du FD12P, mais avec une partie diffusomètre simplifiée (gamme de visibilité limitée à 2 kilomètres). Pour les précipitations, le PWD11 est moins sensible que le FD12P : il se limite à l'identification de la bruine, de la pluie et de la neige. Il donne aussi l'intensité des précipitations. Les résultats des essais réalisés par la DSO à Trappes et au Puy-en-Velay ont été jugés assez bons, à la fois en détection et en identification (DSO, 1999). Pour cette raison, le PWD11 est le capteur actuellement installé par Météo-France dans les sites de mesure où l'automatisation de l'observation a été décidée.

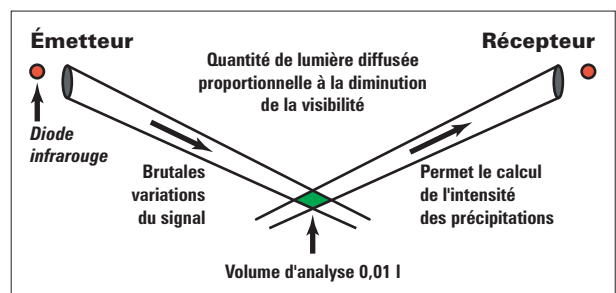


Figure 1 - Principe de fonctionnement du capteur de temps présent Vaisala PWD11.

Le capteur **PWD21** (Vaisala, Finlande) est disponible sur le marché depuis septembre 2001. Ce nouveau capteur est dérivé du PWD11, avec une gamme de mesure de visibilité étendue à 20 kilomètres. Les spécifications du constructeur indiquent une capacité à identifier le caractère verglaçant de la pluie et de la bruine. Le coût du PWD21 est supérieur de 20 % à celui du PWD11.



Le capteur **Wivis** (Optical Scientific, États-Unis) est annoncé comme un capteur routier. Il utilise le principe optique de la scintillation, comme le Ledwi. Il possède aussi un récepteur supplémentaire pour mesurer la visibilité par diffusion latérale avant (gamme de mesure de la visibilité de 2 mètres à 2 ou 3 kilomètres).

Le capteur **Fumosens VI PW** (Impulsphysic, Allemagne), désormais disparu du marché, a été évalué par Météo-France lors de l'expérience Prewic, mais également plus récemment par le Deutscher Wetterdienst allemand. Ce capteur est peu sensible et indique très souvent de la bruine au lieu des autres hydrométéores. Ses performances sont mauvaises.

## Autres analyseurs de précipitations

Les disdromètres déterminent le nombre et la taille des hydrométéores qui frappent un petit tambour. La détection des précipitations est très bonne. La distribution de taille des gouttes obtenue aide à la discrimination de la pluie et de la bruine. En revanche, la neige ne peut être identifiée, l'impact sonore d'un flocon étant trop faible. Les disdromètres sont coûteux et fragiles, mais ils peuvent aider à l'identification de la grêle (gros impacts).

Les spectropluviomètres déterminent le nombre, la taille et la vitesse de chute des hydrométéores dans un champ optique. Ces capteurs coûteux peuvent servir à détecter et à identifier les hydrométéores. La société allemande

Photo 9 - Une station Nivôse pour la surveillance du manteau neigeux et la mesure des paramètres météorologiques en montagne. (Photo Météo-France)



PMTech propose le capteur **Parsivel** (Particule Size Velocity), un spectropluviomètre capteur de temps présent (Löffler-Mang et Joss, 2000).

L'instrument **Solia** (Degréane, France), capteur d'état du sol (voir page 66), fournit aussi un diagnostic de temps présent à partir de l'analyse de la variabilité des signaux réfléchis et rétrodiffusés (Gaumet et Salomon, 1998). Ses informations ne peuvent être utilisées seules, la détection de l'instrument étant mauvaise ; elles peuvent toutefois constituer une aide complémentaire intéressante si l'on dispose d'un logiciel de fusion de données.

## La hauteur de neige

Les capteurs classiques de hauteur de la couche de neige sont des systèmes à ultrasons : la hauteur est déduite du temps de parcours d'une onde sonore, la température de l'air étant prise en compte. Le Centre d'études de la neige de Météo-France, qui utilise actuellement pour ses stations Nivôse (photo 9) un capteur fabriqué par la société Option (France), va évaluer cet hiver le capteur Campbell (Royaume-Uni, voir photo 5). Les Britanniques utilisent ce capteur et en sont satisfaits lorsqu'ils appliquent un logiciel de filtrage à la mesure brute. La gamme de mesure de ce capteur Campbell s'étend de 50 centimètres à 10 mètres. Il suffit donc de l'installer à au moins 50 cm au-dessus du sol pour détecter la hauteur de neige. L'incertitude de mesure est supérieure à 1 cm, ce qui peut être gênant pour détecter les très faibles hauteurs de neige. Il existe par ailleurs d'autres fabricants de capteurs de hauteur de neige, comme Brusag (Suisse).

## Les nuages

### La hauteur de la base des nuages

La seule technique actuelle de mesure est celle des télémètres de nuages à laser. Initialement limitée à 1 500 mètres, valeur suffisante pour les applications aéronautiques, la portée de ces instruments atteint maintenant pour certains près de 8 000 mètres, ce qui accroît leur intérêt météorologique. Il existe deux fabricants américains, Belfort et Qualimetrics, et Vaisala en Finlande qui commercialise le modèle

**CT25K** (photo 10). Les télémètres de nuages à laser fournissent des données toutes les minutes, voire toutes les 15 ou 30 secondes. Ils peuvent indiquer plusieurs couches de nuages si le faisceau laser traverse la première couche (ce qui est rare) ou si la première couche est temporairement trouée. La détection des nuages élevés (les cirrus) est mauvaise, le capteur étant en limite de portée et les nuages étant trop fins optiquement pour engendrer une nette variation du signal rétrodiffusé. Ces télémètres de nuages à laser sont en exploitation à Météo-France pour le service à l'aéronautique. Signalons cependant que leur bon fonctionnement est perturbé par les fortes précipitations, qui réduisent la portée et peuvent empêcher la détection de la base des nuages.



Photo 10 - Trois télémètres de nuages à laser Vaisala CT25K en cours d'essais à Trappes. (Photo Météo-France, P. Taburet)

## La couverture nuageuse

De nombreux services météorologiques calculent la couverture nuageuse à partir des mesures d'un télémètre de nuages, les États-Unis ayant été les premiers avec leurs systèmes Asos. Plusieurs algorithmes de calcul de la couverture nuageuse ont été publiés par les Américains, les Canadiens et les Britanniques. Météo-France utilise l'algorithme des systèmes Asos, qui exploite les mesures d'un télémètre de nuages sur les trente dernières minutes ; dans le cadre de l'automatisation des messages aéronautiques Metar, cette technique est actuellement opérationnelle sur deux aéroports français, Metz-Nancy-Lorraine et Dinard. Les Canadiens utilisent quant à eux les mesures d'un télémètre de nuages sur les soixante dernières minutes. Il n'y a pas

eu de comparaison publiée des différents algorithmes en service dans le monde, mais le principe reste toujours le même : on passe de la détection à la verticale sur une période de temps donnée à la couverture nuageuse en faisant l'hypothèse que le déplacement des nuages permet ce passage. Les limitations principales des algorithmes sont donc liées à cette hypothèse. Les algorithmes en question ne permettent pas d'identifier le type des nuages, en particulier les cumulonimbus.

Par ailleurs, plusieurs capteurs sont en cours de mise au point pour déterminer directement la couverture nuageuse. Ils ne sont pas encore validés, ni disponibles sur le marché. On peut ainsi citer :

- Une maquette réalisée par le Setim (ancien nom de la DSO de Météo-France), dans laquelle un ou plusieurs radiomètres infrarouges balaient le ciel sur une monture motorisée et fournissent une image « thermique » du ciel. Une présentation écrite a été faite lors de la conférence internationale Teco 98 (Gaumet et Morscheidt, 1998).
- La société Groupe Leader (France) développe un système à plusieurs capteurs reposant sur ce principe (Gillotay et al., 2001).
- La société finlandaise Vaisala a présenté lors de la conférence internationale Teco 2000 un capteur en cours de développement (Heyn et al., 2000). Le principe est le même que celui de la maquette du Setim, mais la réalisation industrielle est beaucoup plus avancée. Ce capteur indiquerait la couverture nuageuse globale, sans indication de hauteur ; un couplage avec un télémètre de nuages est annoncé pour la mesure de la hauteur.

- Le capteur **TSI** (Total Sky Imager, société Yes, États-Unis) effectue de jour l'analyse d'une image vidéo du ciel sur un dôme hémisphérique.

- Enfin, le Met Office britannique a travaillé sur cette question à l'aide de caméras vidéo et infrarouges et pense être capable de reconnaître les cumulonimbus sur une image infrarouge. Mais tout reste à faire...

## Les éclairs

La société américaine Global Atmospheric, désormais rachetée par Vaisala, propose deux détecteurs d'éclairs : le modèle **Esid** (Electrical Storm Identification Device) et le modèle **TSS928**. Ces capteurs détectent les éclairs dans un rayon de 30 miles (soit près de 50 kilomètres), avec indication de la distance et possibilité de choisir entre trois seuils : 5, 10 et 30 miles. Le modèle TSS928 indique aussi la direction des éclairs, par octants. C'est le successeur du modèle **TSS924** utilisé dans les systèmes américains Asos.

Vaisala (Finlande) propose de son côté le détecteur d'éclairs **Safe Lightning Warning System**. Ce capteur est dérivé du capteur d'éclairs développé et vendu dans les années 1990 par la société française Dimensions, elle aussi rachetée par Vaisala. Il détecte les éclairs dans un rayon de 50 milles nautiques (soit environ 90 kilomètres), avec indication de la distance et de la direction. La technique proposée – le moulin à champ qui mesure le champ

électrique, dont les variations peuvent servir à identifier un orage – a été évaluée par Météo-France au cours du projet Solfège. Elle est onéreuse et produit de nombreuses fausses alarmes.

## Conclusion

Comme on vient de le voir, il existe de nombreux instruments permettant de détecter, d'identifier et de mesurer des phénomènes météorologiques qui n'étaient jusqu'ici accessibles que par l'observation humaine, ceux qui caractérisent le temps présent. Il suffit d'effectuer des recherches sur Internet pour constater que la liste proposée dans cet article n'est pas exhaustive. Ces capteurs de temps présent ne sont qu'à l'aube de leur développement et leur comportement reste encore loin d'être parfait.

Pour les utiliser de façon optimale, la solution proposée par les services météorologiques qui ont travaillé dans ce domaine, parmi lesquels Météo-France, est de fusionner les données de ces capteurs de temps présent avec les données des capteurs météorologiques classiques, comme la pression, l'humidité, la température... (Champagne, 2003). En attendant une fiabilité complète de ces systèmes, il sera dans un premier temps nécessaire d'interposer entre ces capteurs et l'information finale qu'ils délivrent des logiciels « intelligents », qui devraient permettre d'améliorer la crédibilité et la qualité des renseignements fournis par ces capteurs de temps présent.

## Bibliographie

- **Champagne M.**, 2003 : L'observation intégrée. À paraître dans *La Météorologie* 8<sup>e</sup> série, n° 40.
- **DSO**, 1999 : Évaluation du capteur de temps présent PWD11 au Puy-en-Velay de février à juin 1999. Rapport interne d'essai R026 de la DSO, Météo-France, Trappes, 14 p.
- **Gaumet J.-L.** et **P. Salomon**, 1998 : Solia, un nouvel instrument météorologique pour caractériser l'état du sol. *La Météorologie* 8<sup>e</sup> série, 24, 8-20.
- **Gaumet J.-L.** et **W. Morscheidt**, 1998 : Détermination de la nébulosité par radiométrie infrarouge. WMO Technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation (Teco 98). Instruments and observing methods report n° 70, WMO/TD n° 877, Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, p. 353-356.
- **Gillotay D.**, **T. Besnard** et **F. Zanghi**, 2001 : A systematic approach of the cloud cover by thermic infrared measurements. Proceedings of 18th Conference on numerical weather prediction. Fort Lauderdale, Floride, États-Unis. American Meteorological Society, Boston, États-Unis, p. 292-295.
- **Hein K.**, **I. Schesonka** et **S. Engel**, 2000 : Automatic cloud coverage determination by evaluation of thermal radiation differences. WMO Technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation (Teco 2000). Instruments and observing methods report n° 74, WMO/TD n° 1028, Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, p. 226-228.
- **Leroy M.**, 1998 : Prewic, the WMO intercomparison for present weather sensors. WMO Technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation (Teco 98). Instruments and observing methods report n° 70, WMO/TD n° 877, Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, p. 19-22.
- **Leroy M.**, **C. Bellevaux** et **J.-P. Jacob**, 1998 : PREWIC, WMO intercomparison of present weather sensors/systems, Canada and France, 1993-1995, final report. Instruments and observing methods report n° 73, WMO/TD n° 887, Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse.
- **Löffler-Mang M.** et **J. Joss**, 2000 : An optical disdrometer for measuring size and velocity of hydrometeors. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 17, 2, 130-139.
- **Nadolski V. L.**, 1998 : Asos program update. Preprints of 14th International conference on interactive information and processing systems for meteorology, oceanography and hydrology, 11-16 janvier 1998, Phoenix, Arizona, États-Unis. American Meteorological Society, Boston, États-Unis, p. 175-177.